

# 胶东金矿田的深部地球物理勘查模式初步研究

张宝林<sup>1,2,3</sup>, 吕古贤<sup>4</sup>, 梁光河<sup>1,2,3</sup>, 徐兴旺<sup>1,2,3</sup>, 李志远<sup>1,2,3</sup>, 苗雅娜<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国科学院矿产资源研究重点实验室 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2. 中国科学院地球科学研究院, 北京 100029;

3. 中国科学院大学, 北京 100049;

4. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 胶东金矿田深部“第二富集带”找矿潜力巨大, 但预测难度也大, 其中一个问题是深部勘查目标难以识别。作为复杂成矿过程的产物, 按经济指标划分的金矿体和规模更大的构造蚀变带, 可以整体上作为深部地球物理勘查的目标, 扩大目标地质体的规模, 从而提高物探方法的分辨率。基于矿床地质特征、岩(矿)石物性参数及含矿构造岩相带的空间形态特点, 将胶东地区金矿床分为三类: 一维角砾岩型、二维蚀变岩型、二维石英脉型。依托“中生代岩浆核杂岩隆起—拆离带”控矿构造模式, 应用含矿构造岩相带和地球物理方法相结合的工作模式, 在玲珑—焦家、大庄子、蓬家乔等矿田开展深部找矿预测, 为物探方法有效识别深部矿化带提供理论和技术支持。

**关键词:** 胶东; 金矿田; 成矿类型; 深部预测; 地球物理勘查; 构造岩相带

**中图分类号:** P618; P613

**文献标识码:** A

## PRELIMINARY STUDY ON DEEP GEOPHYSICAL EXPLORATION MODEL OF GOLD ORE FIELDS IN EASTERN SHANDONG, CHINA

ZHANG Baolin<sup>1,2,3</sup>, LYU Guxian<sup>4</sup>, LIANG Guanghe<sup>1,2,3</sup>, XU Xingwang<sup>1,2,3</sup>, LI Zhiyuan<sup>1,2,3</sup>, MIAO Ya'na<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. Institutions of Earth Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** The “second enrichment belt” in deep gold ore fields in eastern Shandong has great prospecting potential, but it is difficult to predict. One of the problems is that the target of deep exploration is hard to identify. As a product of complex metallogenic process, the gold ore bodies which are divided according to economic indicators and larger structural alteration zones, as a whole can be the goal of deep geophysical exploration. As a result, the scale of target geological bodies can be expanded, thus improving the resolution of geophysical exploration methods. Based on the geological features of the deposit, the physical parameters of the rock (ore) and the spatial characteristics of the ore-bearing structural

**基金项目:** 中国科学院地质与地球物理研究所自主创新与企业合作项目 (31351460, 51650930)

**作者简介:** 张宝林 (1963-), 男, 博士, 研究员, 从事隐伏矿床定位预测理论与方法研究。E-mail: blzhang@mail.iggcas.ac.cn

**引用格式:** 张宝林, 吕古贤, 梁光河, 等. 胶东金矿田的深部地球物理勘查模式初步研究 [J]. 地质力学学报, 2019, 25 (S1):

150-156 DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.026

ZHANG Baolin, LYU Guxian, LIANG Guanghe, et al. Preliminary study on deep geophysical exploration model of gold ore fields in eastern Shandong, China [J]. Journal of Geomechanics, 2019, 25 (S1): 150-156 DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2019.25.S1.026

lithofacies belt, the gold deposits in eastern Shandong are divided into three types: one-dimensional breccia type, two-dimensional altered rock type and two-dimensional quartz vein type. Relying on the ore-controlling tectonic model of “uplift and detachment zone of Mesozoic magmatic core complex” and combining the ore-bearing structural lithofacies belt with geophysical methods, the deep prospecting prediction is carried out in Linglong-Jiaojia, Dazhuangzi and Pengjiakuang ore fields, which provides theoretical and technical support for geophysical prospecting methods to effectively identify deep mineralized zones.

**Key words:** eastern Shandong; gold ore field; metallogenic type; deep prediction; geophysical prospecting; structural lithofacies zone

## 0 引言

胶东地区是中国主要的黄金生产基地之一, 为黄金工业的发展做出了巨大的贡献。随着胶东金矿“深部第二富集带”的找矿突破<sup>[1]</sup>, 第四系覆盖区、老矿山深部以及海底基岩区已经成为主要的勘查对象<sup>[2]</sup>, 并取得一系列显著的找矿效果, 表明其深部找矿潜力巨大<sup>[3~4]</sup>。物探方法在胶东金矿深部找矿工作发挥了重要作用, 将来可以发挥更大的作用<sup>[5~6]</sup>。

但在如何将成因模型和理论认识转化为地质勘查对象, 以及如何有效应用物探技术提高深部找矿预测水平等方面, 还存在很多需要深入研究的问题。例如, 用地震方法探测变质岩与花岗岩之间的界面, 理论上是可行的。但胶东地区勘探的目标是花岗岩内部的断裂带, 理论上就很困难, 原因是不同期次的花岗岩地震波阻抗差异太小。波阻抗是密度和速度的乘积。花岗岩内地震波速度大致在 5600 m/s 左右且较为稳定。玲珑花岗岩和郭家岭花岗闪长岩的密度为  $2.62 \times 10^3 \sim 2.63 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。而断裂带内的蚀变含金碎裂岩密度为  $2.64 (2.51 - 2.9) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。也就是说, 二者之间密度差仅为  $(0.01 \sim 0.02) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , 而理论上说, 岩石的密度差需要在  $(0.1 \sim 0.2) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  之间才能形成较强的地震波反射。如果断裂破碎带有数十米的宽度, 而且其中岩石密度变化较大, 比如大于  $2.73 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  或者小于  $2.53 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  (假设断裂带两侧花岗岩密度  $2.63 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ), 才能形成较强反射。此外, 焦家断裂带下盘成矿, 必须是不同时代岩体的接触带吗? 物探方法能够识别不同时期的岩体吗? 从原理上讲, 物探方法可以识别岩石的变形范围, 但是, 岩石变形与蚀变之间存在怎样的时空关系? 成矿深度

预测的依据是否合理? 低/高渗透率岩石与成矿是什么关系? 从这些特征中如何确定物性标志呢? 文章提出将金矿体和规模更大的含矿构造蚀变带整体作为深部地球物理勘查的目标, 扩大目标地质体的规模, 从而提高物探方法的分辨率。

## 1 胶东金矿基本地质特征

该区已发现的原生金矿床按照矿石类型可分为四大类: 石英脉型、构造蚀变岩型、角砾岩型、碳酸盐岩型。不同类型金矿床形成于同一地质时代, 具有一致的物质来源, 受 3 种成矿构造带控制, 有 4 种主要蚀变类型<sup>[1]</sup>。从成因上来看, 先后提出了岩浆热液型、变质热液型、隐爆角砾岩型、盆地边缘层间滑脱构造角砾岩型、幔源成矿、造山型、克拉通改造型等, 几乎囊括了国内外经典和现代的各种成矿模式。金矿的赋矿围岩主要有 2 类: 前寒武纪变质岩 (太古宙花岗—绿岩带、古元古代和新元古代变质地层) 和中生代原生块状岩石 (早白垩世火山—沉积岩系和侏罗纪—早白垩世花岗岩类侵入岩)。矿石矿物主要为自然金、银金矿、碲金矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等, 脉石矿物主要为石英、钾长石、绢云母、绿泥石等。主要蚀变类型为硅化、钾化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化等。

## 2 现有的金矿地球物理勘查模式及其存在的问题

胶东金矿物探工作中使用的方法很多, 针对不同类型、深度的预测目标, 基于矿物组合及岩 (矿) 石物性参数, 选择的物探方法包括重力、磁法、电法、地震、遥感、放射性等。其中, IP、磁法、遥感等方法主要解决浅部预测问题, 而 CSAMT、EH4、地震、

重力等方法主要解决深部预测问题。

具体的操作流程为：①从地质角度认识成矿规律和成矿信息，确定成矿类型和远景区；②从地表、坑道、岩芯中采集一定数量的岩（矿）石标本，测量围岩与矿石的物性参数（密度、磁化率、电阻率、极化率、速度、放射性等），研究其是否存在显著差异，从而选用相关的物探方法；③根据控矿构造和蚀变带的产状，布设相应的观测系统，开展扫面或剖面测量工作，完成野外数据采集；④按照数学-物理模型，对数据进行处理、解释，圈定异常区；⑤结合其它方面的成矿信息，综合选定有利的成矿靶区、靶位；⑥开展钻探或坑道工程验证。

长期以来，对于物探找矿方法有效性的评判标准存在很大分歧：矿山企业当然要看找矿效果，只有见到好矿了，才说物探方法好。理论上讲，见矿品位高低不应成为评判物探方法优劣的首要标准，因为金元素含量的多少并不能导致岩石物性的显著变化。从技术角度来看，工程验证的异常部位是否具有预测的物性差异，才是评判物探效果的主要指标。近些年来，胶东金矿“深部第二富集带”找矿工作中，深钻—超深钻工程又揭露出一些新现象<sup>[5]</sup>，涉及到矿床成因、矿化带产状、控矿构造体系、成矿构造背景等方面的认识问题，值得深入研究和探讨。

### 3 胶东金矿地球物理分类方案

金矿的分布受构造控制，物探的基础是地质与地球物理的关系问题。人们习惯于矿床的地质分类，却很少提及地球物理分类。在实际工作中，人们往往从有利于成矿的角度主观地、理想化地

认识物探结果。重视地质分类、忽视地球物理分类，导致找矿效果不佳的现象比比皆是。

例如，地质工作者通过对岩芯、坑道进行细致的地质观察，能够确定很多有利的成矿构造部位，例如，招平金矿带内金矿化样式可划分为4种：①韧性剪切带中浸染型，②片理化带内蚀变岩型，③脆性断裂带内碎裂岩型和次级断裂，④节理内石英脉型金矿化。前两种矿化宽度较小，指示断裂构造发生了韧性和脆韧性变形，破碎带及赋矿围岩渗透率低，成矿流体集中在断层核，以渗透流为主；后两种矿化宽度较大，指示破碎带及赋矿围岩渗透率高，成矿流体集中在次级断裂和裂隙内，以隧道流为主<sup>[7]</sup>。这么细致的地质产状，物探方法能区分开吗？胶东金矿的两类围岩、断裂构造界面、破碎带、含硫化物与贫硫化物的矿化蚀变带，等等地质特征，物探方法能够识别到什么程度？物探在发现深部金矿方面究竟能发挥什么作用？究竟应该如何解释、使用物探结果？评价物探方法是否有效的基础是什么？总之，物探方法追求的效果主要不是见矿情况，而是物性模型与地质体的对应关系。

因此，准确识别控矿构造是物探方法成功的首要条件。在前期工作基础上<sup>[8-9]</sup>，文章提出有利的成矿构造部位就是含矿的构造岩相带。依据构造岩相标志及其物性参数特点，提出了面向找矿预测目标的矿床地球物理类型划分方案<sup>[10]</sup>。该方案摆脱了经济指标对矿体范围的限制，将更大规模的含矿构造岩相带作为预测目标，提高了物探方法的识别精度，预测成功率随之显著提高。结合胶东金矿的实际情况，基于含矿构造岩相带的地质地球物理特点，初步提出了胶东金矿的地球物理分类方案（表1）。

表1 胶东金矿床地球物理分类初步方案

Table 1 Preliminary geophysical classification of gold deposits in eastern Shandong

维度	构造岩相带							典型矿床
	平面形态	空间形态	名称	地质标志	产状	物性异常	物探方法组合	
一维	点状	柱状、筒状、管状	角砾岩相	含矿角砾岩筒	直立、陡倾	密度、电性	遥感、地震、大深度电法	角砾岩筒型金多金属矿床（五莲七宝山）
二维	带状	似层状	蚀变岩相	含矿构造角砾岩带	倾斜	密度、电性、放射性	遥感、地震、重力、磁法、大深度电法、放射性	蚀变岩型、角砾岩带型金矿床（焦家、三山岛、蓬家乔）
二维	线状	似层状	石英脉相	含矿石英脉	陡倾	密度	重力	石英脉型金矿床（玲珑、乳山）

## 4 胶东金矿田深部找矿预测的工作模式

### 4.1 矿田构造控矿模型

迄今为止, 胶东地区三条主要控矿断裂带(三山岛、焦家、招平)以及主要金矿田的深部, 都做过比较系统的研究, 都认为深部存在第二富集带。从成矿控制因素和矿田地质学的角度来看<sup>[3,11]</sup>, 哪些地质标志可以作为深部物探的目标? 成矿岩石具有怎样的物性特征? 不仅仅是标本, 还要了解含矿地质体的空间分布规律, 以及数据

处理模型。应将含矿构造岩相带作为深部预测的地质目标, 并研究其结构及物性特征, 为有效开展深部预测提供新的思路。

金矿的构造控矿模式, 一直是国内外地学界探讨的热门话题。在胶东金矿深部找矿理论方面, 近些年提出的“岩浆核杂岩隆起-拆离带岩浆期后热液蚀变成矿”<sup>[3]</sup>和“陆内构造岩浆核杂岩隆起-拆离带蚀变成矿”<sup>[12]</sup>模式(图1), 对胶东及中国东部中生代金属矿田的空间分布规律做了符合客观实际的解释, 受到学术界和生产部门的积极评价。陈毓川认为, “构造岩浆热隆起-拆离带交代蚀变成矿模式, 丰富了东部陆内成矿理论”<sup>[12]</sup>。

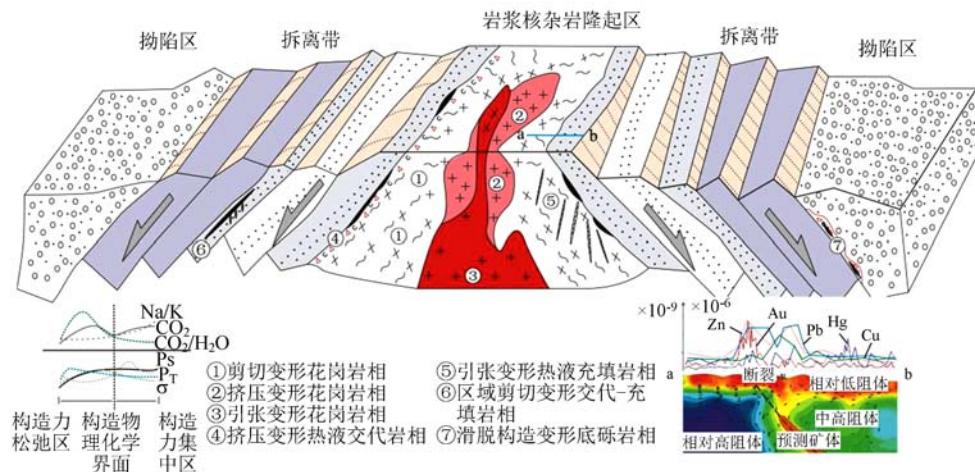


图1 岩浆核杂岩隆起-拆离带控矿构造体系图(据[3, 6, 12]资料编绘)

Fig. 1 Ore-controlling tectonic system diagram of magmatic core complex uplift-detachment zone (adapted from [3, 6, 12])

### 4.2 深部反射地震勘探剖面证据

近些年来, 胶东金矿田施工了多条深反射地震剖面, 揭示了深部地质体结构构造特征<sup>[13-14]</sup>。地震剖面显示, 花岗岩基内部存在多个类似“拱弧构造”的岩浆侵入形成的弧形界面, 推测可能存在2~3期的岩浆活动, 是存在“岩浆核杂岩”而非“变质核杂岩”的地球物理证据(图2)。

地震剖面还显示了3期构造组合样式: 第1期为以招平断裂带和宋家河断裂为组合、倾向南东的铲式断裂, 底部似汇入统一的构造滑脱带; 第2期为倾向北西的、错断了招平断裂带的反倾伸展断裂; 第3期为北东向延伸、以花状构造为特征的走滑断裂。前两期反映构造发育处于伸展环境, 第3期显示为左行走滑。招平断裂带深部延伸存在分支复合现象, 形成由2个主裂面夹持的透镜状岩片。

地震剖面揭示的地质体3期构造组合样式结构

特征, 显示胶东地区中生代花岗岩侵位隆升过程中以发育伸展构造为主, 与“岩浆核杂岩隆起-拆离带”的构造体系(图1)高度吻合。地震反射剖面数据的获得, 对于深刻理解该区域中生代岩浆构造演化过程和确定深部找矿目标地质体具有重要的借鉴意义。

### 4.3 深部找矿预测模式

含矿构造岩相带结合地球物理方法开展深部找矿预测的基本工作流程如下: ①分析矿田成矿条件及可能形成的矿床类型, 从成矿系统的角度建立矿田地质模型, 提出成矿预测区和物探异常目标(地球物理场); ②工区现场调查, 通过详细的观察和构造蚀变岩相填图, 识别含矿构造岩相带, 系统地采集含矿地质体的物性参数, 为选择物探方法提供依据; ③设计观测系统, 选择最佳时间开展现场地球物理观测; ④室内数据质量检查、处理, 研究异常的分布规律和影响因素, 建立



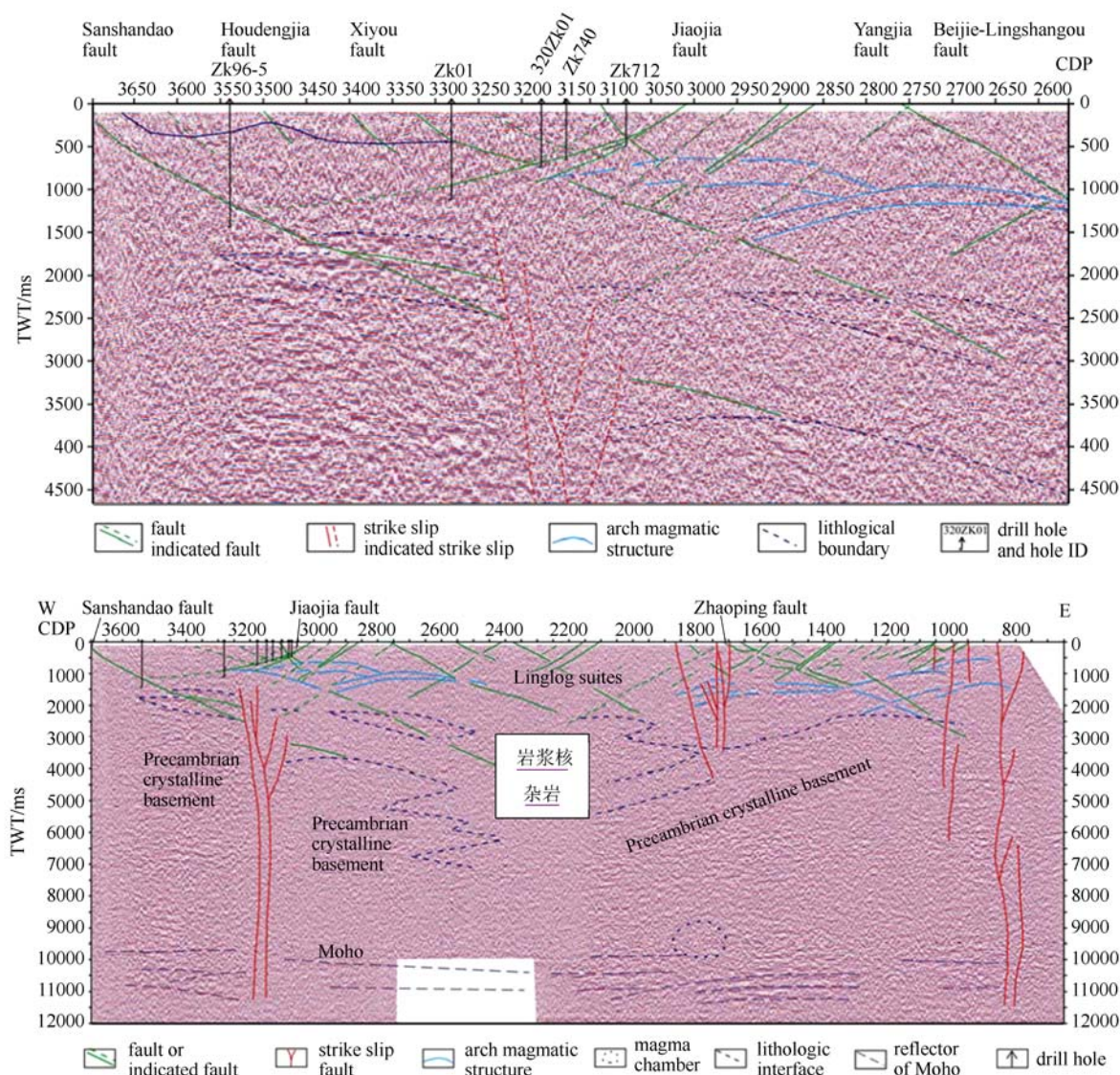


图2 三山岛—毕郭反射地震勘探时间-地质解释剖面 (据文献 [12] 修改)

Fig.2 The Sanshandao-Biguo reflection seismic exploration time-geological interpretation section (modified from [12])

地质-地球物理勘查模型, 设计工程验证靶位; ⑤工程验证, 解释、修正勘查模型。

## 5 成果及结论

基于新建立的控矿构造模式和地球物理勘查结果的良好对应关系, 在胶东多个金矿田开展了深部找矿预测, 简要成果总结如下。

(1) 玲珑矿田构造蚀变岩分带三维填图取得显著深部找矿成果。

玲珑九曲矿区采空区下深部预测的成功。由于矿脉早已采尽, 采空区以下深部找矿无从下手。采取地表结合中段的构造蚀变岩分带填图, 结合

地球物理地球化学资料综合分析, 确定九曲断裂蚀变岩带的倾斜和侧伏形态, 在采空区下部布置靶区, 探获 14 吨新增金矿储量。

### (2) 焦家金矿深部第二富集带的突破

矿区中段构造蚀变带填图与深部找矿。在焦家金矿田的蚀变岩相填图工作中, 识别出黄铁绢英质碎裂糜棱岩、绢英岩化碎裂蚀变岩、强钾化蚀变岩、弱钾化蚀变花岗岩和花岗岩的分带, 确定了它们的空间分布。结合物探和化探勘查资料分析, 提出了新的找矿靶区。根据这一规律勘查, 获近百吨黄金储量, 并且寺庄金矿等周边金矿的深部突破, 也参考了焦家金矿构造岩相找矿方法和经验。

(3) 平度大庄子金矿找到被断裂错失的隐伏矿脉

中段构造蚀变带填图, 找到被断裂错断的矿体。平度大庄子金矿围岩是变质岩, 矿山主矿体被断裂 F1 错失, 十几年来用坑探、物探和化探勘查都没找到矿体, 资源几近枯竭。后来将蚀变的变质岩带作为标志进行中段构造蚀变岩相填图<sup>[15]</sup>, 将几米宽的预测目标扩大到 100 m 宽, 依此提出靶区。矿山施工 3 个月后, 在断裂北部 3 条勘探线和 6 个中段找到了被错失的矿脉, 一举改变了资源危机局面。

### 参考文献/References

- [ 1 ] 宋明春. 胶东金矿深部找矿主要成果和关键理论技术进展 [J]. 地质通报, 2015, 34 (9): 1758 - 1771.  
SONG Mingchun. The main achievements and key theory and methods of deep-seated prospecting in the Jiaodong gold concentration area, Shandong Province [J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34 (9): 1758 - 1771. (in Chinese with English abstract)
- [ 2 ] 刘殿浩, 吕古贤, 张丕建, 等. 胶东三山岛断裂构造蚀变岩三维控矿规律研究与海域超大型金矿的发现 [J]. 地学前缘, 2015, 22 (4): 162 - 172.  
LIU Dianhao, Lǚ Guxian, ZHANG Pijian, et al. A study of 3D ore-controlling of the tectonic altered rocks of the Sanshandao fault in Jiaodong Peninsular and the discovery of an offshore super-large gold deposit in China [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22 (4): 162 - 172. (in Chinese with English abstract)
- [ 3 ] 吕古贤, 李秀章, 张迎春, 等. 矿田地质学的研究和发展问题 [J]. 地质与勘探, 2012, 48 (6): 1143 - 1150.  
Lǚ Guxian, LI Xiuzhang, ZHANG Yingchun, et al. Research and development of orefield geology [J]. Geology and Prospecting, 2011, 48 (6): 1143 - 1150. (in Chinese with English abstract)
- [ 4 ] 吕古贤, 李洪奎, 丁正江, 等. 胶东地区“岩浆核杂岩”隆起 - 拆离带岩浆期后热液蚀变成矿 [J]. 现代地质, 2016, 30 (2): 247 - 262.  
Lǚ Guxian, LI Hongkui, DING Zhengjiang, et al. Hydrothermal alteration metallogenesis in the determination zone of a “Magmatic Core Complex” upheaval-detachment structure, Jiaodong [J]. Geoscience, 2016, 30 (2): 247 - 262. (in Chinese with English abstract)
- [ 5 ] 宋国政, 闫春明, 曹佳, 等. 胶东焦家成矿带超千米深部金矿勘查突破及意义 - 以沙岭矿区为例 [J]. 黄金科学技术, 2017, 25 (3): 19 - 27.  
SONG Guozheng, YAN Chunming, CAO Jia, et al. Breakthrough and significance of exploration at depth more than 1 000m in Jiaojia metallogenic belt, Jiaodong: A case of Shaling mining area [J]. Gold Science and Technology, 2017, 25 (3): 19 - 27. (in Chinese with English abstract)
- [ 6 ] 孟银生. 胶东招平金矿带厚覆盖区深部矿床综合地球物理勘查模型与成矿预测 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2016: 1 - 164.  
MENG Yinsheng. Multiple geophysical prospecting model and metallogenetic prediction for deep deposit under the thick overburden area of Zhaoping gold ore belt, Jiaodong Peninsula [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2016: 1 - 164. (in Chinese with English abstract)
- [ 7 ] 张瑞忠. 招平金矿带构造控矿机理及深部成矿预测 [D]. 北京: 中国地质大学 (北京), 2017: 1 - 166.  
ZHANG Ruizhong. Structural control on gold mineralization and deep metallogenetic forecast in Zhaoping Gold Belt, Jiaodong Peninsula, Eastern China [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017: 1 - 166. (in Chinese with English abstract)
- [ 8 ] 张宝林. 应用“地物化三场异常互相约束”的隐伏资源定位预测新理论和新技术快速优选找矿靶区取得显著效果 [J]. 黄金科学技术, 2004, 12 (5): 48.  
ZHANG Baolin. Application of the new theory and new technology of “mutual constraint of geological, geophysical and chemical anomalies in three fields” to the location prediction of hidden resources and rapid optimization of prospecting target area have achieved remarkable results [J]. Gold Science and Technology, 2004, 12 (5): 48. (in Chinese)
- [ 9 ] 张宝林, 苗雅娜, 苏艳平, 等. “地物化三场异常耦合理论”及其在隐伏金多金属矿床定位预测中的应用 [J]. 黄金科学技术, 2018, 26 (4): 431 - 442.  
ZHANG Baolin, MIAO Ya'na, SU Yanping, et al. The Geological-geophysical-geochemical three fields anomalies coupling theory and its application in the positioning prognosis of concealed gold-polymetallic deposits [J]. Gold Science and Technology, 2018, 26 (4): 431 - 442. (in Chinese with English abstract)
- [ 10 ] 张宝林, 苏艳平, 张国梁, 等. 胶东典型含矿构造岩相带的地质 - 地球物理信息预测方法与找矿实践 [J]. 地学前缘, 2017, 24 (2): 85 - 94.  
ZHANG Baolin, SU Yanping, ZHANG Guoliang, et al. Predicting method of typical ore - bearing tectonic lithofacies zones by integrated geological-geophysical information and its prospecting practice in eastern Shandong, China [J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24 (2): 85 - 94. (in Chinese with English abstract)
- [ 11 ] 张焱垚, 张达, 吴淦国, 等. 云南省大坪金矿控矿构造特征与找矿方向研究 [J]. 地质力学学报, 2017, 23 (2): 315 - 326.  
ZHANG Yaoyao, ZHANG Da, WU Ganguo, et al. Ore-controlling structural characteristics of Daping gold deposit in Yunnan and prospecting orientation research [J]. Journal of Geomechanics, 2017, 23 (2): 315 - 326. (in Chinese with English abstract)

- [12] 吕古贤, 武际春, 崔书学, 等. 胶东玲珑金矿田地质 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 1–685.  
LÜ Guxian, WU Jichun, CUI Shuxue, et al. Geology of Linglong gold ore field in Jiaodong [M]. Beijing: Science Press, 2013: 1–685. (in Chinese with English abstract)
- [13] YU Xuefeng, SHAN Wei, XIONG Yuxin, et al. Deep structural framework and genetic analysis of gold concentration areas in the northwestern Jiaodong Peninsula, China: A new understanding based on high-resolution reflective seismic survey [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2018, 92 (5): 1823–1840.
- [14] 单伟, 于学峰, 李洪奎, 等. 招平断裂带中段深部结构构造——来自地震剖面的证据 [J]. *山东国土资源*, 2018, 34 (5): 48–58.  
SHAN Wei, YU Xuefeng, LI Hongkui, et al. The deep structural characteristics under the middle of Zhaoping fault zone-evidences coming from seismic section survey [J]. *Shandong Land and Resources*, 2018, 34 (5): 49–58. (in Chinese with English abstract)
- [15] 申玉科, 吕古贤, 周国发, 等. 山东平度大庄子金矿构造岩相解析与空白区找矿突破 [J]. *地学前缘*, 2015, 22 (4): 152–161.  
SHEN Yuke, LÜ Guxian, ZHOU Guofa, et al. The analysis of altered rock and the breakthrough in prospecting in the blank area of Dazhuangzi gold mine in Pingdu, Shandong Province [J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22 (4): 152–161. (in Chinese with English abstract)